

# Limpieza de chapa de acero impregnada con aceite mediante la utilización de plasma frío a baja presión

Paula Marielisa Sarmiento Pesantez\*  
Wilson Calle Guamantario\*\*

## Resumen

En esta propuesta se desarrolló un procedimiento de limpieza de chapa de acero para procesos de conformado, impregnada con una mezcla de aceite SAE 40 y diesel, mediante la utilización de plasma frío a baja presión. La descarga de plasma fue generada mediante la energía de radio frecuencia, utilizando para ello dos tipos de gases: argón y oxígeno. La limpieza de la superficie fue evaluada mediante la medición del ángulo de contacto con agua desionizada, el cálculo de la energía libre superficial mediante las teorías de Fowkes y Wu y la cromatografía de gases. Los resultados muestran que la limpieza con plasma es más efectiva si se utiliza un procedimiento previo de limpieza, en este caso, la inmersión en disolvente.

---

\* Ingeniera mecánica graduada en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) – Cuenca.

\*\* Ingeniero mecánico. Profesor de la Carrera de Ingeniería Mecánica UPS – Cuenca.

## Abstract

This project developed a method of cleaning steel sheet forming processes impregnated with a mixture of SAE 40 and diesel by using low pressure cold plasma. The plasma discharge was generated by radio frequency energy using two types of gases: argon and oxygen. Cleaning the surface was evaluated by measuring the contact angle with deionized water, the calculation of the surface free energy by Fowkes theories and Wu and gas chromatography. The results show that the plasma cleaning is more effective when using a prior cleaning, in this case, the immersion in solvent.

**Palabras clave:** plasma, chapa metálica, limpieza, aceite, ángulo de contacto, energía libre superficial, cromatografía.

**Keywords:** plasma, sheet metal, cleaning, oil, contact angle, surface free energy, chromatography.

## Introducción

Los procesos de limpieza de chapa de acero son comunes en las empresas cuyas cadenas de producción incluyen algún tipo de recubrimiento posterior como la pintura o la aplicación de capas protectoras contra la corrosión; en este sentido, los métodos convencionales de limpieza utilizados son el desengrase y el decapado químico, en los cuales se manejan una serie de compuestos peligrosos como el tricloroetileno, el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico o el ácido fosfórico, los mismos que requieren de instalaciones específicas dotadas de bombas para su recirculación, sistemas de calentamiento y extractores de gases, además de las protecciones necesarias para los trabajadores, pues los vapores desprendidos por estos compuestos producen irritación de las vías respiratorias, en caso de inhalación, e irritación cutánea, cuando entran en contacto con la piel.

El manejo de residuos procedentes de estos procesos debe ser realizado por empresas especializadas. Este procedimiento im-

plica un gasto adicional y el consiguiente aumento de contaminación causada por los desechos de fábricas. Una de las alternativas para reemplazar este tipo de procedimientos poco amigables con el medio ambiente y perjudicial para los trabajadores, es el plasma frío a baja presión. Este procedimiento es considerado una tecnología limpia (compatible con la naturaleza), moderna, fiable, de bajo costo y al mismo tiempo mucho más segura para los trabajadores.

En este contexto, el objetivo de la presente propuesta consiste en el desarrollo de un procedimiento para limpiar la superficie de la chapa metálica impregnada con una mezcla de aceite SAE 40 y diesel, mediante la utilización de una descarga de plasma frío a baja presión, obtenida mediante energía de radio frecuencia, sin tomar en cuenta las capas de óxido que esta superficie pudiera tener.

## **Materiales y métodos**

### *Equipos y reactivos*

El equipo utilizado para la generación de plasma fue adquirido a la empresa Diener Electronic GmbH + Co. KG, pertenece a la serie PICO y consta de dos partes: el sistema de plasma y la bomba de vacío.

El sistema de plasma posee una cámara cilíndrica de acero inoxidable con un volumen aproximado de 5 litros. El diámetro interno de la cámara es de 150 mm y su profundidad es de 320 mm. La puerta está hecha de aluminio, el sistema es de control semiautomático, tiene la opción de utilizar hasta tres gases y posee un solo electrodo. El generador trabaja con una señal de radiofrecuencia de 13,56 MHz y una potencia máxima de 100 W, además, maneja presiones desde 0,14 mbar hasta 10 mbar.

La bomba de vacío es de marca TRIVAC E 2. Esta es una bomba de paletas rotatorias de doble etapa, su gasto másico es de 2,5 m<sup>3</sup>/h y su presión es de  $2 \times 10^{-3}$  mbar.



**Figura 1.** Sistema de plasma y bomba de vacío

Los gases empleados para la generación del plasma fueron el argón y el oxígeno, ambos con 99,99% de pureza. Para realizar la medida del ángulo de contacto se utilizó un goniómetro adquirido a la empresa KSV. El modelo del goniómetro es el CAM 100. Este equipo incluye un software de medición del ángulo de contacto y un software para la medición de la energía libre superficial.

Los líquidos que se utilizaron para la medición del ángulo de contacto fueron agua desionizada, etileno glicol y diyodo metano.

Líquido de prueba	Energía de superficie ( $\gamma$ )	Componente dispersivo ( $\gamma^d$ )	Componente polar ( $\gamma^p$ )
Agua desionizada	72,80	21,80	51,00
Etileno glicol	48,00	29,00	19,00
Diyodo metano	50,80	50,80	0,00

**Tabla 1.** Componentes de la energía libre superficial (mN/m) para los líquidos de prueba

Las muestras que se utilizaron para la limpieza eran de chapa metálica para procesos de conformado. Estas muestras se obtuvieron en el taller Rodas-Tosi, ubicado al interior de Pasamanería y formaban parte de los retazos sobrantes del proceso de fabricación de filtros de gasolina, por lo que ya se encontraban recubiertas con una capa lubricante formada por una mezcla de aceite SAE 40 y diesel. Las muestras tienen un diámetro de 42 mm y un espesor de 0,6 mm.

El diseño factorial empleado para realizar los experimentos fue el 23 con punto central y réplica, en donde se estudian tres factores en dos niveles cada uno.

Variables	Rango de las variables		
	-1	0	1
Presión (mbar)	0.3	0.52*	0.8
Potencia (% de 100W)	10	30	50
Tiempo (min)	30seg	1.20*	2min

**Tabla 2.** Variables para el diseño factorial 23 con punto central y réplica

### Procedimientos experimentales

Para determinar el método de limpieza más eficiente se realizaron dos procedimientos. El primero de ellos consistía en limpiar la superficie utilizando únicamente una descarga de plasma, tanto de argón como de oxígeno (dieciocho experimentos con cada gas). Mientras que el segundo procedimiento incluía la inmersión de la muestra durante un minuto en disolvente, como paso previo a la limpieza con plasma de argón y de oxígeno. Todos estos experimentos se realizaron de acuerdo al modelo factorial 23 y su proceso se detalla a continuación.

Se tomó una muestra y se la colocó sobre la mesa del goniómetro, luego se midió el ángulo de contacto con agua desionizada, etileno glicol y diyodo metano. Con estos datos se calculó la

energía libre superficial mediante el software SFE proporcionado con el mismo equipo. Una vez determinadas las características iniciales, se introdujo la muestra a la cámara de plasma, se produjo el vacío, se dio paso al ingreso de los gases de argón u oxígeno y se fijaron los valores de la presión, la potencia y el tiempo. Una vez terminada la descarga, se abrió la válvula de ventilación para que la cámara retorne a la presión atmosférica. Luego se procedió a retirar la muestra de la cámara y otra vez se midió el ángulo de contacto con los tres líquidos citados anteriormente, para calcular la energía libre superficial y así determinar las características finales de la muestra.

En el caso del segundo procedimiento, la inmersión de la muestra en el disolvente se efectuó después de realizar la medición del ángulo de contacto con los tres líquidos y antes de introducirla en la cámara.

El análisis cromatográfico fue realizado en el laboratorio de análisis instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

## Resultados y discusión

De los 72 experimentos realizados, el menor valor del ángulo de contacto medido con agua desionizada se obtuvo con el experimento 11 (0,8 mbar de presión, 50 W de potencia y 2 min de tiempo) de la limpieza con plasma de oxígeno luego de la inmersión en disolvente; por lo que este experimento fue replicado para realizar el análisis cromatográfico.

### *Análisis de la medida del ángulo de contacto y la energía libre superficial*

A continuación, se presenta una tabla con los valores del ángulo de contacto con agua desionizada y el cálculo de la energía libre superficial mediante la teoría de Fowkes y Wu para el experi-

mento 11 antes y después de la limpieza con plasma de oxígeno de acuerdo al procedimiento 2.

	Ángulo de contacto (agua desionizada)	Energía libre superficial (Fowkes)	Energía libre superficial (Wu)
Antes de la limpieza	81,42°	40,85 mN/m	45,73 mN/m
Después de la limpieza	16,80°	66,03 mN/m	71,40 mN/m

**Tabla 3.** Resumen de las mediciones para el experimento 11

Estos resultados nos demuestran que la limpieza con plasma de oxígeno ha logrado limpiar la superficie de la placa metálica.

*Análisis cromatográfico*

La cromatografía de gases se utilizó para determinar de manera cuantitativa la cantidad de contaminantes que fueron removidos. En las siguientes figuras se muestran los resultados del experimento 11 antes y después de la limpieza.

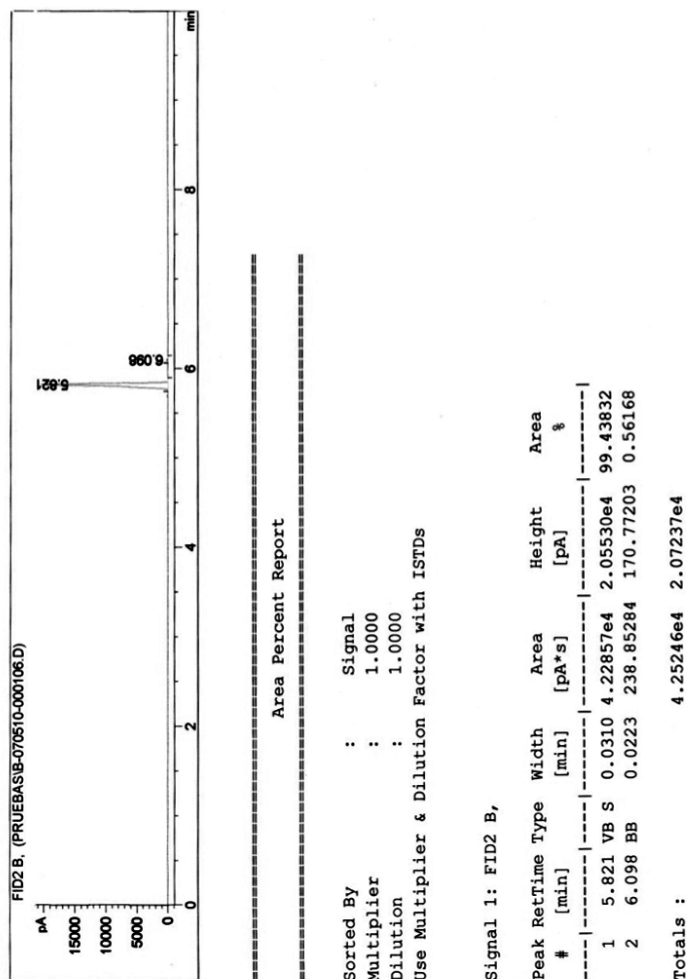
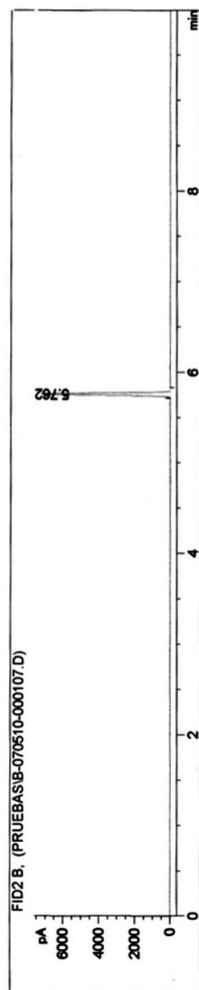


Figura 2. Resultado de la cromatografía antes de la limpieza con plasma





# Area Percent Report

Sorted By : Signal  
Multiplier : 1.0000  
Dilution : 1.0000  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FID2 B,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	5.762	BB S	0.0259	1.17206e4	7240.76709	1.000e2

Totals : 1.17206e4 7240.76709

Figura 3. Resultado de la cromatografía después de la limpieza con plasma

El tamaño del pico que aparece alrededor de los 5 minutos en la muestra sucia tiene un área mucho mayor que el pico que aparece en la muestra limpia en el mismo tiempo de retención. Además, el pico que aparece en la muestra sin tratamiento en el minuto 6,098 ya no aparece en la muestra que ha sido limpiada mediante plasma. Esto, sumado a la evidente disminución en las áreas totales, nos sugiere la remoción del aceite de la superficie de la placa metálica. El procedimiento que se siguió fue el mismo con las dos muestras, por lo que los resultados no se ven afectados por variaciones en los tamaños de las muestras.

## Conclusiones

La inmersión de la muestra durante un minuto en disolvente como procedimiento previo de limpieza, mejoró la eficiencia del proceso de limpieza con plasma, tanto con el argón como con el oxígeno.

Luego de sumergir las muestras en el disolvente, el plasma de oxígeno demostró ser más efectivo que el plasma de argón, pues este último disminuyó la medida del ángulo de contacto con agua desionizada en  $41,90^\circ$  promedio, mientras que el plasma de oxígeno lo hizo en  $53,85^\circ$  promedio.

El plasma de oxígeno, precedido de la inmersión en disolvente, es el procedimiento que demostró tener mejores resultados para limpieza de la chapa metálica al limpiar el aceite de la superficie en un 72%, según el cromatograma, y al aumentar la energía libre superficial en 24,67 mN/m según la teoría de Fowkes y en 24,60 mN/m según la teoría de Wu, ambos valores promedios.

A pesar de que se sigue necesitando de una limpieza previa con químicos (en este caso disolvente), la muestra solo se sumergió una vez y no se necesitó de enjuagues posteriores con agua, lo cual significa una reducción en los desechos generados en el proceso de limpieza.

## Bibliografía

BELKIND, Abe *et al.*

- 1996 “Plasma cleaning of metals: lubricant oil removal”. En: *Metal Finishing*. Vol. 94. N° 7, julio de 1996, p.19-22.

ESTRUCTPLAN

- s.f. “Riesgos higiénicos en el tratamiento superficial de metales. Parte 02. Preparado químico”. [En línea], disponible en: [www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.aspx?entrega=527](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.aspx?entrega=527)

LARNER, Mikki y Stephen Kaplan

- 2004 “The Challenge of Plasma Processing - Its Diversity”. [En línea]. ASM Materials and Processes for Medical Devices Conference, disponible en: [www.4thstate.com/publications/Challenge%20of%20Plasma%20Proc%2004.pdf](http://www.4thstate.com/publications/Challenge%20of%20Plasma%20Proc%2004.pdf)

NETO NASCIMENTO, Ramos Eneas *et al.*

- 2007 “Combinación de análisis de XPS y análisis goniométrico para el estudio de la remoción del aceite superficial en aluminio utilizando plasma frío”. En: *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. N° 41, septiembre de 2007, p. 108-119.

